



Evolutionary Theory for

CONSTRAINED & DIRECTIONAL DIVERSITIES

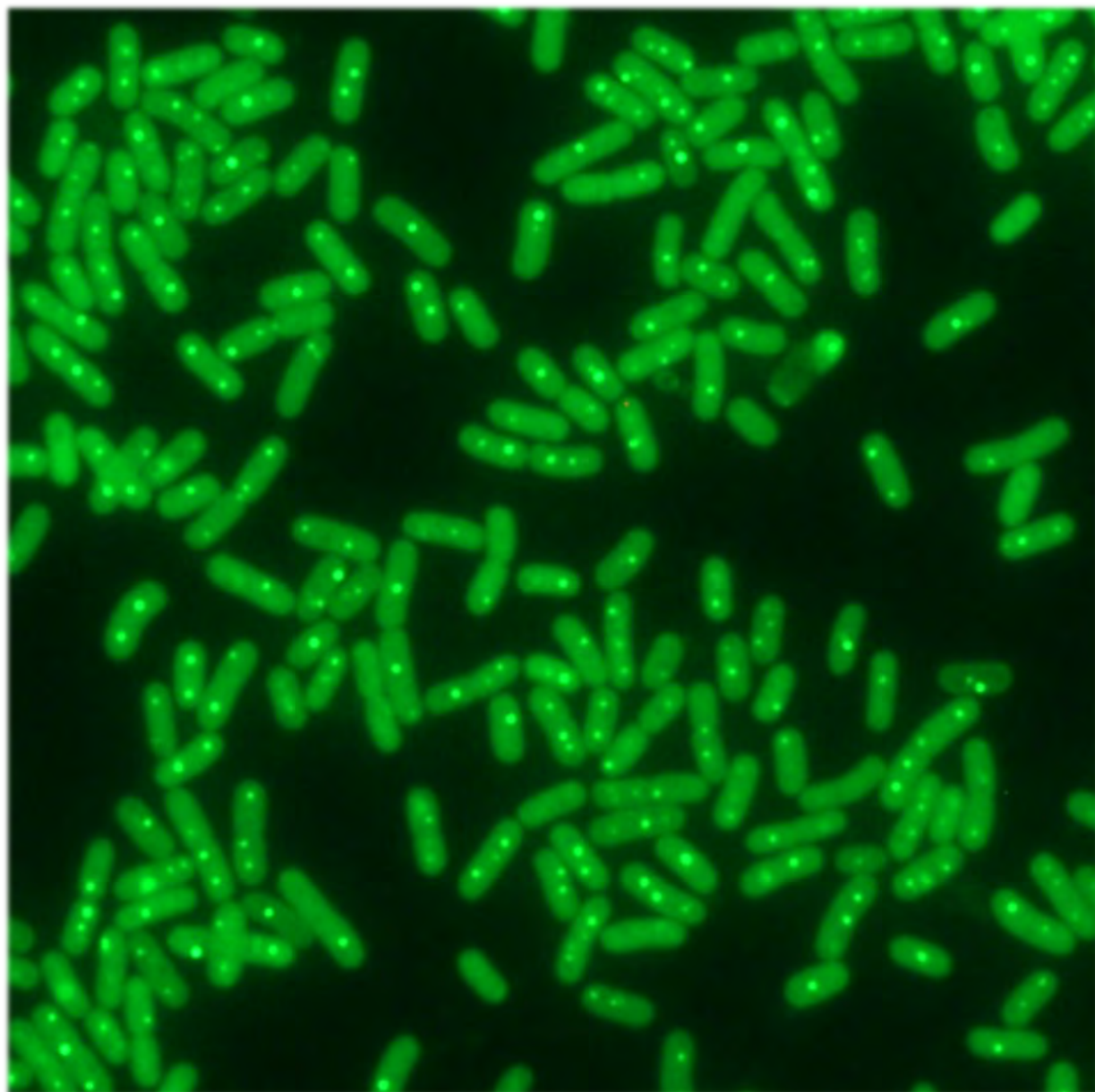
Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas

Constrained & Directional Evolution Newsletter Vol. 3 No. 5 (2019)

新学術領域研究

進化の制約と方向性

～微生物から多細胞生物までを貫く表現型進化原理の解明～



シンポジウム「構成的アプローチを用いた進化研究：
拘束と進化可能性の理解へ向けて」開催報告

表紙:シアノバクテリア *Synechococcus elongatus* PCC 7942の蛍光顕微鏡写真。細胞内のドットはSSB (single-strand binding protein) の局在であり、複製中の染色体を示す。この種は1細胞あたり3-6コピー程度の染色体を保持するが、一度に複製される染色体の数はほとんどの細胞で1コピー程度である。しかし、写真のように環境変動や生育速度の変化により、複製中の染色体数が変動することがわかる。(写真:理化学研究所 大林龍胆)

目次

シンポジウム「構成的アプローチを用いた進化研究:拘束と進化可能性の理解へ向けて」開催報告	古澤力、入江直樹	1
シンポジウム「構成的アプローチを用いた進化研究:拘束と進化可能性の理解へ向けて」概要		2
シンポジウム講演要旨		
Frontiers in experimental evolutionary biology	深津武馬	3
What makes animal embryos to follow the hourglass model?	入江直樹、内田唯、 上坂将弘	4
Impact of polyploidy on the evolutionary rate	大林龍胆、畠山哲央	5
Analysis of evolutionary constraints and plasticity by microbial laboratory evolution	古澤力	6
連載エッセイ(15) 蝶に惚れた – 美しくも残酷な誘惑者	倉谷滋	7

シンポジウム

「構成的アプローチを用いた進化研究：拘束と進化可能性の理解へ向けて」

開催報告

令和元年の9月24日～26日に宮崎で行われた第57回日本生物物理学会年会において、シンポジウム「構成的アプローチを用いた進化研究：拘束と進化可能性の理解へ向けて」を新学術領域・進化制約方向性の共催で開催しました。

生物システムは進化のダイナミクスを通じて様々な状態に変化しますが、そこで出現し得る状態には偏りがあるように見えます。その進化における拘束や方向性はいまだ個別な事象の記載にとどまっていた、そうした偏りの背後にあるメカニズムは明らかになっていません。本領域メンバーによるものを含め、進化における拘束と方向性の理解のための様々な試みが進んでいますが、そこで強力な武器となっているのは、トランスクリプトーム解析やゲノム解析などの大規模情報解析、進化実験に代表される構成的アプローチ、そして数理モデルによる解析です。そこで今回のシンポジウムでは、構成的アプローチや定量的な解析を主軸に据えて研究を進めている領域メンバー4名に、最近の研究の進展とアプローチについて紹介いただきました。

生物物理学会という場ということもあり、定量解析や普遍的性質に興味を持つ多数の学生や研究者の皆さんに参加いただき、各講演に対して活発な議論が行われました。以下に記録として、その講演要旨を収録いたします。

オーガナイザー 古澤 力
入江 直樹



フェニックスが屹立する宮崎駅西口広場

シンポジウム 2SFP

構成的アプローチを用いた進化研究：拘束と進化可能性の理解へ向けて

Constructive Approaches for Evolution: Toward Understanding of Directionality and Constraints

共催:新学術領域研究「進化制約方向性」

オーガナイザー:

古澤 力 Chikara Furusawa (理化学研究所 / 東京大学)

入江 直樹 Naoki Irie (東京大学)

一般社団法人 日本生物物理学会 第 57 回年会

於 シーガイアコンベンションセンター(宮崎県宮崎市山崎町浜山)

2019 年 9 月 25 日 (水) 14:10-16:50 F 会場(4F マーブルルーム)

Living organisms do not evolve in perfectly random directions, instead, we recognize unevenness and directionalities in phenotypic variations and evolutionary changes. However, mechanisms for these directionality or evolutionary constraints remains unclear so far. In this symposium, we will show recent development in this field, in particular, analysis of evolutionary dynamics by constructive approaches to unveil constraints and directionalities in evolution, and discuss current subjects and future perspectives.



シンポジウム会場における質疑の様子

2SFP-1 共生進化生物学の最前線

Frontiers in experimental evolutionary biology

深津 武馬 (産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門)

Takema Fukatsu (AIST)

Many insects and other organisms constantly harbor microorganisms inside their body. Due to the close spatial proximity, extremely intimate biological interactions and interdependency are commonly found between the partners called host and symbiont. Novel biological properties are often generated through such associations. In many cases, host and symbiont are integrated into an almost inseparable biological entity. Our main research targets are diverse microbial symbiotic interactions found in insects. Here I present an overview of our research topics on the symbiosis and evolution in insects, particularly highlighting experimental evolutionary approaches to insect-bacterium symbiotic associations.



シンポジウム会場の全景

2SFP-2 What makes animal embryos to follow the hourglass model?

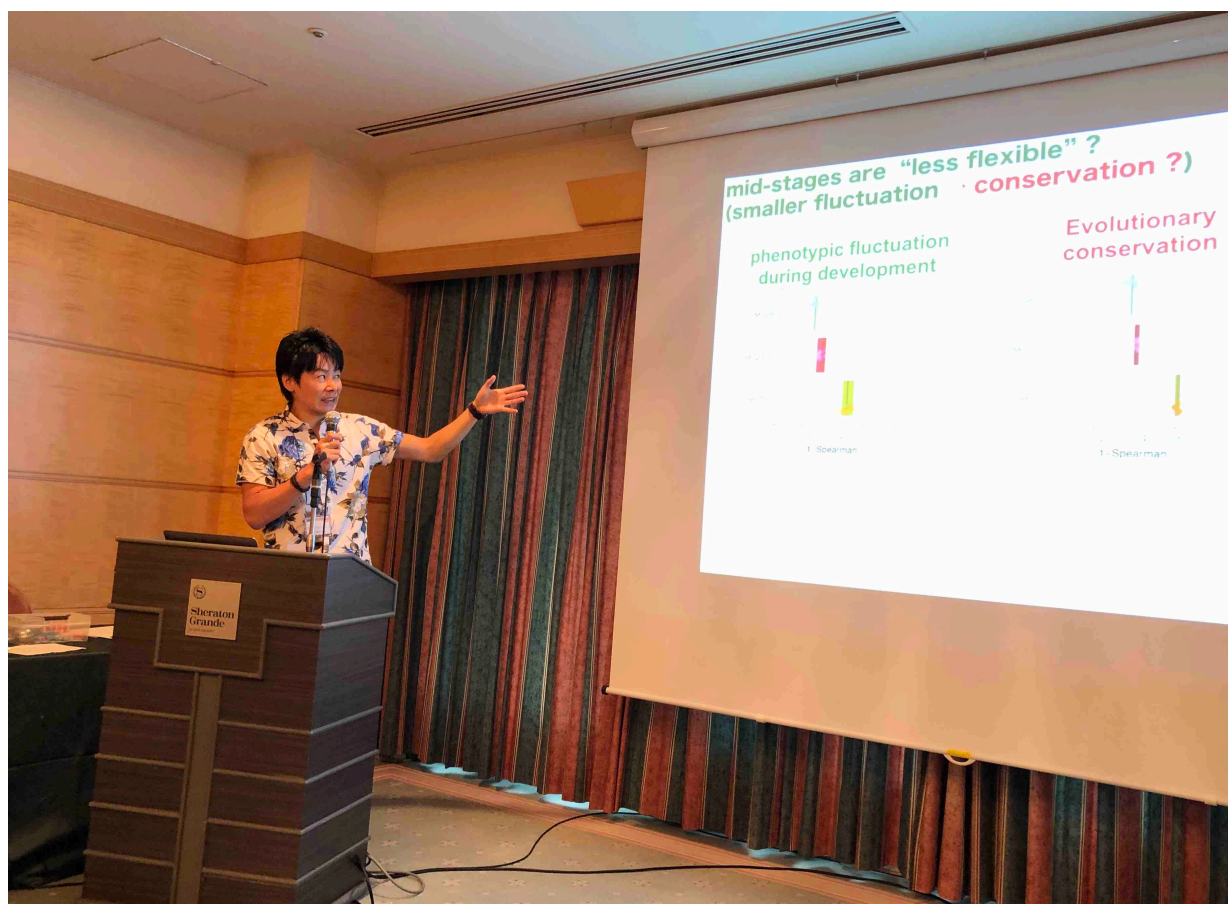
Naoki Irie¹, Yui Uchida¹, Masahiro Uesaka² (¹University of Tokyo, Tokyo, Japan; ²RIKEN, Saitama, Japan)

Animal development (or embryogenesis) proceeds from simple, single-celled egg to more complex organism. Given that upstream information, or signals, are required for later developmental processes, it is natural to assume that the earliest stage should be unchangeable (= conservation) during evolution, due to their essentiality.

However, recent molecular based studies supported rather strange pattern of conservation: Like the hourglass, the earliest stage was not the most conserved stages, but rather, mid-embryonic, organogenesis phase were found to be conserved the most.

The question then, is why do embryogenesis follow such a rule (the developmental hourglass model)? While current evolutionary theories did not provide sufficient explanation for this phenomenon, we found possible contribution of pleiotropic constraints at regulatory level by our study. In short, we found that genes utilized in vertebrates' conserved mid-embryonic phase are intensively recruited to other developmental processes, and the degree of the recruitment not only correlated with essentiality for normal development, it also showed positive correlation with their evolutionary conservation.

Re-utilization of existing genes has long been known to accelerate evolutionary diversification (through creating novel traits etc.), however, our findings imply that gene re-utilization is a double-edged sword toward evolution, having limiting effect on the diversification. The more complex organism, could be more constrained (or have less evolvability potential). We will also talk about our recent, unpublished findings over the relationship between fluctuation of developmental system and evolvability.

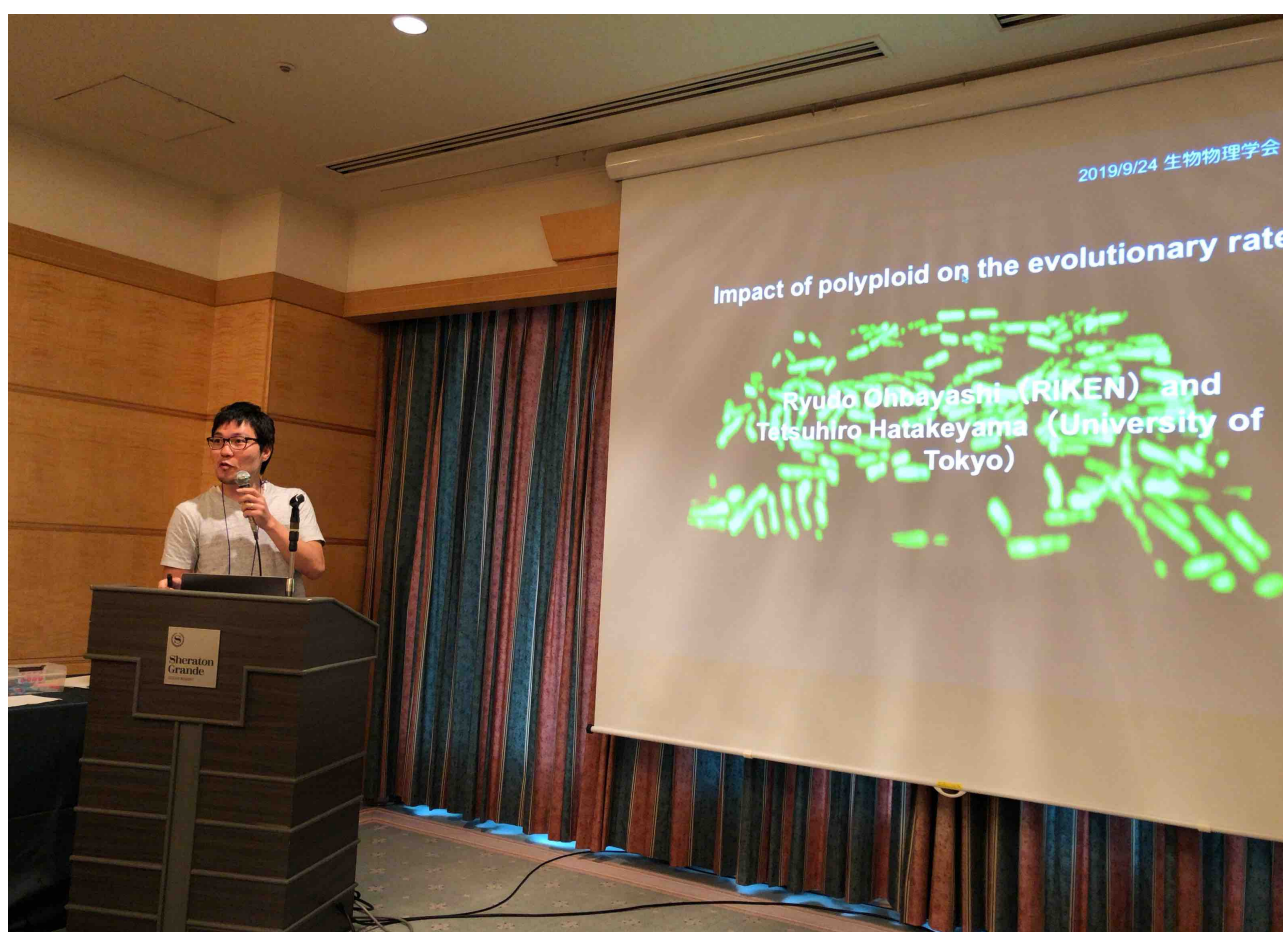


入江直樹による講演

2SFP-3 Impact of polyploidy on the evolutionary rate

Ryudo Ohbayashi¹, Tetsuhiro Hatakeyama² (¹BDR., RIKEN, ²Dept. of Basic Sci., Univ. of Tokyo)

Diversification of the number of homologous chromosomes (ploidy) is often observed in a wide range of organisms, i.e., bacteria, archaea, and eukaryotes. In bacteria, although most of the model organisms such as *E. coli* possess only single chromosome per cell, some species maintain multiple copies of that (polyploid). In spite of its universality, little is known about the importance of polyploidy in evolution. To clarify the impact of polyploidy on the evolution, we first investigated the regulation mechanism of replication of multiple genomes. Then, we revealed the associated inheritance pattern of polyploid and constructed the mathematical model for evolution based on observations. In this symposium, we also discuss our ongoing experiments on artificial evolution.

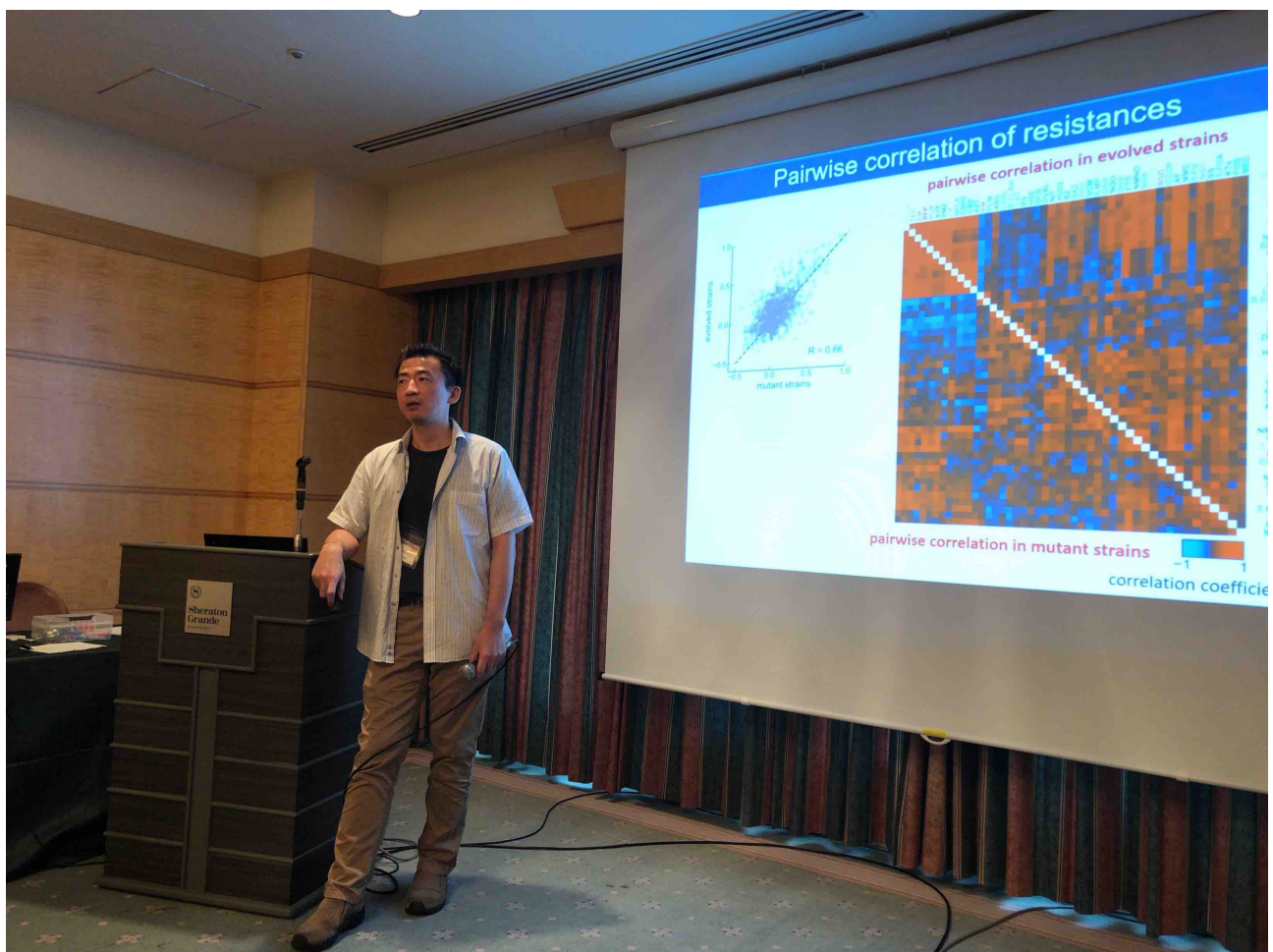


大林龍胆による講演

2SFP-4 Analysis of evolutionary constraints and plasticity by microbial laboratory evolution

Chikara Furusawa^{1,2} (¹BDR, RIKEN, ²UBI, Univ. Tokyo)

To understand how the course of evolution is constrained in high-dimensional phenotype and genotype spaces, we performed laboratory evolution under various (more than 100) stress environments, and changes in phenotypes and genome sequence were analyzed. The results demonstrated that the expression changes were restricted to low-dimensional dynamics, while diverse genomic changes can contribute to similar phenotypic changes. Based on these results, we will discuss the nature of phenotypic plasticity and constraint in bacterial evolution, and possible strategies to predict and control the evolutionary dynamics.



古澤力による講演

蝶に惚れた - 美しくも残酷な誘惑者

倉谷 滋

「恋と愛とは違う」などとはよく言われるが、先日も知り合いの進化人類学者とそんな話で盛り上がっていた。「愛」というのは中々に理性的なもので、そこには誠意とか、真摯さとか、政治とか、イデオロギーとか、そういうしちめんどくさい人間的要素が色々関わったり関わらなかったりするが、それに比べると「恋」なんてのはほとんど病気に近く、映画『天井桟敷の人々』に観るようにニキビ面の子供でも簡単に罹る。だから、「アナタに恋してます」などと告白するのは、これはもう、相手に「一緒に病気になってくれ」というに等しく、それを受ける方も相当の覚悟で臨むべきであって、治してやる自信がないのであれば、いっそ運命をともにしてやろうと腹括るしかなく、なまじ「愛をもって道を論ず」とか、「お友達でいましょうね」的なことを言うことほど無粋で不誠実な行為もないのである。それは重病で苦しんでいる人間に、「毎日よく食べて、欠かさずに運動すれば治りますよ」というのと同じ、つまり、逃げるか、殺すか、さもなきゃ隔離するのが正しい対処法なのである。

この「恋」とほとんど同じ症状をもたらす存在が異性（あるいは、たまに同性）以外にもいくつかあり、それがまた激的な症状を伴うもので、子供の頃からほとんど参っている。歳取ってきたらおさまるだろうと思っていたら、そういうものに限って意外とそうでも無かったりする。その筆頭は何かといえば、「昆虫」である。「たかが虫」などといって侮ってはいけな。連中も恐ろしく蠱惑的で残酷なのだ。

＊

何年か前、出張で本郷に寄ることがあり、空いた時間に例によって古書探索をしていたら、あの動物学関係書を多く扱う「I書店」の隣の飯屋の植え込みに、それはそれは見事な麝香揚羽（ジャコウアゲハ、即ち「やまじょうろう」）の雌が吸蜜に来ていたのを認めた。いや、見初めた。みれば、傷ひとつない完璧な個体（美女）

ではないか。色も薄めで（色白で）スタイルも抜群。長らく私の求めていた「理想の麝香揚羽」がそこに居た。

私はそばに駆け寄り、手で捕まえようとしたが、羽を痛めてしまっては元も子もない。そおっと手を伸ばして両手で包み込もうとした刹那、彼女はすりとすり抜け、別の花に止まろうとする。私もそちらに回り込んで、今度はカメラで乙女の姿をしばし留めんとしたが、察知した彼女はあの特徴的なへろへろした飛び方で再び私から離れようとする。そうそう、これでこそ麝香揚羽。すぐにも捕まえられそうで、捕まらない。捕まえたと思ったらすり抜ける。「ああ、そんなに焦らさないでえ」。人を目一杯翻弄し、それでいて自分の艶姿を見せつけることだけは忘れない。「どう？ ワタシきれいでしょ？ 捕まえられるもんなら捕まえてご覧なさい」。おそらく、私が執拗に追いかけてしようとしたのがいけないのだろう、彼女はレストランの屋根を越え、手の届かないところに行ってしまった。もう見えない。私は手ぶらでそこに佇み、惚けたように彼女の飛んでいった方向を見やるのみ（確かにこのジャコウアゲハ、メスであった。ちなみにここで「彼女」と書いたのは、私の視点によるものに過ぎず、オスであっても同じ反応をしてしまう昆虫が多いことは言うまでもない）。

「逃げられてしまった。今度いつ会えるのだろう」と、私は自分がまた発病していることに思い至る。「いかんいかん。このぶんでは今夜も寝付けずに違いない。いや、これからもしばらくはずっと彼女のことが頭から離れず、寝ても覚めても、心の中で追い続けることになるのだろう。もう夏も終わろうというのに……。こんな思いをするぐらいなら、いっそ彼女に遭わなければよかった」と……。症状だけ見ると、これはもうほとんど「恋」である。

＊

仕方なく「I書店」のドアを開け、店内に入

った。此所の店員とは世間話をする程の仲ではない。しかし、恋に憑かれた人間は誰彼となくそのことを人に喋りたくて仕方がなくなる。私だってそうだ。だから思わず、「あのお……、タッタ今お店の前で見事な麝香揚羽が飛んでいたのですが、ご存じですかあ？ 彼女、ひょっとして此处に良く来るんですかあ？ 一体どこにお住いなんでしょうねえ」などと聞いてしまいそうになったのだがしかし、私はニキビ面の青少年ではなく、理性と分別ある大人だからかうじて思いとどまっていた。が、そう聞きたくてうずうずしていたと白状せねばなるまい（本郷界限の麝香揚羽については、幸運にもその後、深津武馬氏と成瀬清氏と養老孟司氏に色々御教授戴いた）。

事程左様に昆虫の魅力たるや感染力が強く、症状が激烈で困るのである。仮にいま、理想の異性が目の前を通り過ぎたとしても、精々の処振り向くのが関の山、まさか追いかけていきなり求愛したり、あまつさえ両腕でガシッと抱きしめるなどというような破廉恥な真似はしない。そんなことをしたらケーサツに捕まる。いや、犯罪だからしないのではなく、人間相手の恋には常時ある程度の抑制がかかっている（最近、そうじゃない人も多いけど）。しかし昆虫は抑制などちっともかけてくれないから、人間は目一杯突っ走ることになる。連中はメタボリック成人男性に 200 メートル全力疾走させるぐらいの誘惑を平気です。容赦なんかない。心臓が止まったって知ったことか、エネルギー全開、ダイエットにも最適。中には、網振りながら崖から落ちて本当に死

んでしまった奴も居る。考えてみれば、こんなに恐ろしい生物もいない。

＊

その日は別の古書店で、長らく探していた新潮文庫版「江戸川乱歩傑作選」を見付け、安く購入していた。いまさら「乱歩」もないのだが、この文庫版は乱歩の魅力を知るには最高のセレクションで、しかも表紙が無地の黒に赤い印字。これは渋い！ 出張の度に持ち歩くとさぞかし気分が良かろうと予てより狙いを付けていたのだが、最近表紙が変わってしまい、目当てのバージョンが店頭から消えてしまっていたのだった。タッタ 200 円で買った古書を見つめてニヤニヤ笑うこの男もまた病気である。とはいえ、先刻出会った美女への思いはまだ消えない。仕方ないので私は「I 書店」の店内を見渡し、以前から目を付けていた美しき名著、酒井恒著「日本蟹類図説」を購入した。酒井博士の手になる美しい図版が私を慰めてくれる。これでやっと少しは落ち着いた。

そう、古書もまた人を狂わせるからには、立派な「恋の対象」なのである。しかし、昆虫のように逃げ回ることはないから、害も少ないのである。おそらく、古書で死んだ人間は昆虫で死んだ人間よりも遙かに少ないだろう。いやはや、膏肓にいたっては、もはやそこに甘んじるしかない。こうして季節は巡ってゆくのである。

Constrained & Directional Evolution Newsletter Vol. 3 No. 5

発 行 : 2019 年 9 月 30 日

発行者 : 新学術領域研究「進化の制約と方向性～微生物から多細胞生物までを貫く表現型
進化原理の解明～」(領域代表者 倉谷 滋)

編 集 : Constrained & Directional Evolution Newsletter 編集委員会(編集責任者 深津 武馬)

領域 URL : <http://constrained-evo.org/>